

アンチゴライトとかんらん石の結晶方位関係

Relationships of crystal orientation between antigorite and olivine in serpentinite mylonite

曾田 祐介^{1*}, 森下知晃¹, WENK, Hans R.²

SODA, yusuke^{1*}, MORISHITA, Tomoaki¹, WENK, Hans R.²

¹ 金沢大学フロンティアサイエンス機構, ² カリフォルニア州立大学バークレー校

¹Frontier Science Organization, Kanazawa University, ²Department of Earth and Planetary Science, University of California, Berkeley

Serpentinite mylonite is developed penetrative foliation and consists of antigorite. Serpentinite mylonite is described from sheared ultramafic bodies (e.g., Norrell et al., 1989). Foliated antigorite serpentinite with lattice preferred orientation (LPO) causes seismic anisotropy observed in subduction zones (e.g., Katayama et al., 2009, Jung, 2011). However, formation mechanisms and conditions of antigorite LPO are unclear. To clear the formation process of antigorite LPO, we focus on the relationships of crystal orientation between antigorite and host olivine in the serpentinite mylonite.

Studied serpentinite mylonite is from Kurosegawa belt at Toba area, Kii Peninsula. The serpentinite body undergoes multiple stages of deformation and serpentinitization. In outcrop, the serpentinite mylonite is cohesive and is surrounded by incohesive serpentinite which has undergone the serpentinitization of later stage under lower temperature.

The serpentinite mylonite mainly consists of antigorite and olivine, and developed mylonitic textures such as shear bands and olivine porphyroclast system. The foliation and lineation is defined by array of blade shape antigorite and elongated olivine grains. Antigorite with blade shape are crystallized in the pressure shadows of olivine porphyroclast and pull-apart of olivine grain. Their occurrences indicate syntectonic growth of antigorite.

We measure the crystal orientation of olivine and antigorite by the U-stage and EBSD. In EBSD measurement of antigorite, we try automatic indexing, in addition to manual indexing. Both indexing methods bring the same fabric pattern. Comparing the antigorite patterns from the U-stage measurement and EBSD measurement, both methods also show the same fabric pattern.

The LPOs of olivine show point maximum or partial girdle distributions, and these concentrations deviate from the foliation and lineation of serpentinite mylonite. The LPOs of olivine are formed before the antigorite serpentinitization. The LPOs of antigorite, from olivine free domain, show that b axes are parallel to the lineation, c axes are perpendicular to the foliation or make a partial girdle distribution normal to lineation and a axes are a point maximum or form a partial girdle distribution. The orientations of antigorite grains, growing in olivine grains, show topotactic relationship between antigorite and olivine. However, b axes tend to be parallel to the lineation.

Topotactic relationships between olivine and antigorite are attractive mechanisms for the making antigorite LPO (Boudier et al., 2010). Under the shear deformation condition, the other mechanisms, such as rotation of grains, diffusion-precipitate process and anisotropic growth of grains, also would affect the formation of antigorite LPO, in addition to topotaxial growth.

キーワード: アンチゴライト, かんらん石, LPO, トポタキシー

Keywords: antigorite, olivine, LPO, topotactic relationship

東赤石超マフィック岩体のリザーダイト-ブルース石蛇紋岩：かんらん石からのトポタキシャル成長 Topotaxial replacement of olivine by a lizardite and brucite mixture in the Higashi-akaishi ultramafic body

水上 知行^{1*}, 石神慎太郎¹, 荒井 章司¹
MIZUKAMI, Tomoyuki^{1*}, Shintaro Ishigami¹, Shoji Arai¹

¹ 金沢大学地球

¹ Earth Science, Kanazawa University

Fluid-rock reactions in the ultramafic system cause a wide variety of serpentinite. Analyses of the natural occurrences of serpentinite provide important constraints on contributions of variable factors controlling the development and related fluid chemistry. We present detailed petrological observations of lizardite and brucite (Liz+Brc) serpentinite, that is a retrograde product in a subduction zone environment, in the Higashi-akaishi ultramafic body.

We identified two end members of penetrative structures consisting of a fibrous Liz+Brc mixture: topotaxial vein and non-topotaxial mesh structure. Non-topotaxial vein can be regarded as an intermediate. Topotaxial veins are characteristically developed in a coarse-grained dunite and an optical X axis of a Liz+Brc mixture is sub-parallel to a c-axis of host olivine. Mesh textures overprint porphyroclastic textures of dunite and a Liz+Brc fibers are normal to olivine grain boundaries. The topotaxial veins are localized in the central part of the body whereas non-topotaxial mesh is more dominant in the peripheral part close to the surrounding schists.

Topotaxial veins preserve mineralogical and chemical zonings, indicating a Liz formation at a reaction front and a diffusive extraction of Fe to form magnetite (Mgt) at the center of the vein. Micro-Raman mapping reveals a close relationship between stripes of Brc and Mgt at a vein center. This indicates that Fe ion released at Ol-vein interface has transported through a channel filled by Brc. The Mgt formation was controlled by a reaction: Fe-rich Brc + SiO₂ -> Liz + Mgt. A topotaxial relation between Ol and Liz(+Brc) is probably due to a low mobility of Si and high confining pressure. Non-topotaxial meshes show similar mineralogical features but they are rich in Liz and have abundant Mgt at the core. The difference between topotaxial and non-topotaxial replacements can be explained by mobility of elements and a supply of SiO₂ depending on activities of aqueous fluids.

A topotaxial replacement of Ol by Liz+Brc possibly take place in shallow mantle where a supply of water-rich fluid is restricted. The case of the Higashi-akaisi body indicates that it can cause a significant amount of Liz+Brc serpentinite with stress-dependent anisotropic structures.

蛇紋岩化作用における物質移動と律速過程 Mass-transfer and rate-limiting process of serpentinization

岡本 敦^{1*}, 土屋 範芳¹, 小笠原 由一¹

OKAMOTO, Atsushi^{1*}, TSUCHIYA, Noriyoshi¹, OGASAWARA, Yuichi¹

¹ 東北大学大学院環境科学研究科

¹ Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

Serpentine minerals, which are produced by interaction between ultramafic rocks and fluids, contain about 13% water and are the greatest carrier of H₂O into the deep interior of Earth. Therefore, the volume and distribution of hydrated oceanic mantle are of special interest for understanding the global water circulation. There are several hydrothermal experiments on serpentinization in ultramafic rocks (Ol, Opx, peridotite)-water (seawater) interaction; however, these previous studies focused only on the extent of hydration of solids (Martin & Fyfe, 1970; Wegner & Ernst, 1983) or on the evolution of solution chemistry (e.g., Seyfried and Dibble, 1980; Allen and Seyfried, 2003). Therefore, the detailed reaction mechanism is still poorly understood, including evolution of the overall reactions, rate-limiting process, and resulting textures.

In this study, we conducted hydrothermal experiments in the olivine (Ol, Fo91) - orthopyroxene (Opx, En92) - H₂O system at 250 degreeC and vapor-saturated pressure (Psat) for understanding the mechanism of serpentinization at oceanic lithosphere. At this temperature, high extent of hydration is expected for both Ol-H₂O and Opx-H₂O systems. The low-pressure condition of this study enables us to analyze both solution chemistry and the extent of hydration of the solid samples in detail. The main cryndorcal reaction vessel (inner diameter 10.5 mm, height 100 mm) contains two sub-reaction tubes (inner diameter 4.5 mm, height 100 mm), in which the mineral powders (0.025-0.125 mm in size) are packed by meshes. We conducted three types of experiments in the Ol-H₂O, Opx-H₂O and Ol-Opx-H₂O (Opx layer is sandwiched by Ol layers) systems, respectively.

In the Ol-H₂O system, the reaction is divided into three stages. The Mg and Si concentrations increases (stage 1), then decreases (stage 2) and reaches the steady state (stage 1). The mineral assemblage also changes from serpentine (Srp) + magnetite (Mgt) at stages 1 and 2 to Srp + Mgt + brucite (Brc) at stage 3, that is consistent with the solutions, that change from stability field of serpentine to serpentine + brucite by drop of silica activity. The serpentine minerals occur as aggregate of fine-grained crystals (primarily lizardite, but chrysotile appear at stage 3), and discrete brucite crystals occur at the contact with olivine. The olivine commonly contains fractures filled by the products, that is similar to the natural mesh textures. In the Opx-H₂O system, the silica activity is 1 to 3 order higher than that in the O-H₂O system. The products are composed only of serpentine, and do not contain brucite, talc and magnetite. In contrast to serpentinization after olivine, the reaction occurs by pseudomorphic replacement of Opx. In the Ol-Opx-H₂O system, the Mg concentration in the bulk solution is similar to that of the Opx-H₂O system, whereas the Si concentration shows the similar behavior to the Ol-H₂O experiments. The serpentinization preferentially occurred in the Ol zone at the contact with the Opx zone.

At 250 degreeC, the hydration rate is greater in the Ol-H₂O system than in the Opx-H₂O system. The contrasting natures of solution chemistry and products suggest that the rate-limiting process during serpentinization in the Ol-H₂O, Opx-H₂O and Ol-Opx-H₂O systems are dissolution of olivine, precipitation of serpentine, and dissolution of orthopyroxene, respectively. Our results also indicate that hydrogen production, that is accompanied by the formation of magnetite, does not occur in the vicinity of Opx.

References:

Martin, B. & Fyfe, W.S., 1970. *Chemical Geol.* 6, 185-202.

Wegner, W.W., Ernst, W.G., 1983. *Am. J. Sci.*, 283-A, 151-180.

Seyfried, W.E.Jr., Dibble, W.E., 1980. *Geochim. Cosmochim. Act.*, 44, 309-321.

Allen, D.E., Seyfried, W.E. Jr., 2003. *Geochim. Cosmochim. Act.*, 76, 1531-1542.

キーワード: 蛇紋岩化作用, 水熱反応実験

Keywords: serpentinization, hydrothermal experiments

海洋地殻最上部の変質が沈み込み帯の変形に及ぼす影響

Alteration of uppermost oceanic crust and its effect on deformations in subduction zones

山口 飛鳥^{1*}, 亀田 純¹, 西尾 嘉朗², 北村 有迅³, 斎藤 実篤³, 木村 学¹

YAMAGUCHI, Asuka^{1*}, KAMEDA, Jun¹, NISHIO, Yoshiro², KITAMURA, Yujin³, SAITO, Saneatsu³, KIMURA, Gaku¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 海洋研究開発機構高知コア研究所, ³ 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域

¹Department of Earth and Planetary Science, the University of Tokyo, ²Kochi Institute for Core Sample Research, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Institute for Research on Earth Evolution, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Simultaneous deformation and diagenesis characterize shallow parts (depths of <10 km) of subduction zones. While the relationships between diagenesis and deformation of hemipelagic and terrigenous sediment in subduction zones have been discussed for many years, those of basaltic basement have not been evaluated well. To explore the role of diagenesis in subducting basalt, we examined mineralogy and geochemistry of ocean floor basalt at Site C0012, where oceanic crust entering the Nankai Trough, as well as on-land greenstone body within the Mugi melange in Shimanto Accretionary Complex, Japan, which subducted down to 150 - 200 degrees C and 6 - 7 km depth, metamorphosed and then exhumed.

Severe low-temperature alteration is encountered throughout the core samples from Site C0012. Matrix glass is mostly replaced by saponite/celadonite/Fe-hydroxide, olivine is completely replaced by saponite, and plagioclase is partly replaced by saponite and zeolites. Alteration is classified into two stages: broad oxidizing alteration accompanying Fe-hydroxide, and limited reducing alteration accompanying pyrite and intense saponitization, which is concentrated in the topmost ~20 m-thick part of basaltic rocks. These two alterations would correspond to open- and closed-system hydrothermal circulation (i.e. circulation before and after deposition of overlying sediment), respectively (Lister, 1982). On the other hand, corrensite, saponite-chlorite mixed layer clay is the dominant clay mineral phase of basaltic rocks in the Mugi melange (Kameda et al., 2011). Whole-rock geochemistry data shows smaller LOI and K2O number in the Mugi melange in comparison to Site C0012.

Saponite releases water in response to temperature rise, and is progressively converted to chlorite at temperatures of 150?250 degrees C (Kameda et al., 2011). This diagenetic reaction would build up excess fluid pressure especially within highly saponitized part of ocean floor basalt where off-axis reducing alteration encountered, and enhances underplating of oceanic crust and fluxing of fluid-mobile elements along subduction thrust. Deformation and mass flux of subducting basalt could be controlled by alteration pattern formed prior to subduction.

海洋地殻の中の「岩石 - 水 - 生命」相互作用 "Rock -Fluid-Ecosystem" linkage in oceanic crust

中村 謙太郎^{1*}

NAKAMURA, Kentaro^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

その昔、「太陽光の届かない深海には豊かな生態系が存在しないはず」とみんな考えていた。しかし、実際に行ってみたら、そこには見たこともない生物たちのパラダイスが存在していた (Corliss et al., 1979; Spies et al., 1980)。その後月日は流れて、「まさか海底下には豊かな生態系は存在しないよね」とみんな考えるようになった。しかし、実際に掘ってみたら、そこには膨大な生物が存在していることがわかった (Parkes et al., 1994)。そして現在、みんな「さすがに海洋地殻の中にはいないよね」と思っているが …。

本発表では、海洋地殻内生物探査の現状を紹介し、海洋地殻内生態系を考える上で重要な「岩石 - 水 - 生命」相互作用とその探査への示唆について議論する。

Keywords: oceanic crust, Rock -Fluid-Ecosystem linkage, deep-biosphere

海嶺セグメント構造に規制されたマグマシステムの系統的变化 -オマーンオフィオライト V1 溶岩層からの検討 Along-axis variations of magmatism: implication from the V1 volcanic rocks in the northern Oman ophiolite

草野 有紀^{1*}, 宮下 純夫¹, 海野 進²

KUSANO, Yuki^{1*}, MIYASHITA, Sumio¹, UMINO, Susumu²

¹新潟大学大学院自然科学研究科, ²金沢大学理工研究域自然システム学類

¹Niigata University, ²Kanazawa University

海嶺は1~4次のセグメントから構成され、この構造によって地形のみならずマグマの供給やマントルプロセスが支配されていると考えられている。Batiza et al., (1996)によれば、溶岩の組成幅が狭いセグメント (EPR: 11°20'N and 9°30'N) と狭いセグメント (EPR: 10°30'N) が存在する。この違いは海嶺下のメルトレンズが小さくて不安定か、安定かによって説明される。海嶺セグメント内の地形は、セグメント中心部で膨らみ、境界部へ向かって低くなっていく地形を示している [Scheirer and Macdonald, 1993]。この地形変化に沿って、海嶺下の地震波低速度帯もセグメント境界部で大きく下降する。したがって、海嶺セグメントに沿ってセグメント中心部では比較的安定なメルトレンズを有し、境界部へ向かってメルトレンズが縮小・消滅するという系統的な変化していることが推定される。本研究では、これらの変化をオマーンオフィオライト北部地域に分布する溶岩層から検討した。

本研究では南北70 kmにわたる8つの地域で溶岩層の層序学的検討を行い、古海嶺軸方向の火成活動システムを復元した。海嶺軸上で形成された溶岩層の厚さはセグメント中心部の Bani Ghayth において厚さ 603 m、境界部では Wadi Fizh で厚さ 410 m であった。つまり、海嶺軸上火成活動で形成される溶岩の厚さはセグメント中心部から境界部へと薄くなる傾向がある。岩相は、全体にパホイホイ溶岩が卓越して観察されるセグメント中心部に対して、境界部では枕状溶岩が卓越しており、境界部における起伏に富んだ海底地形が推測される。しかし V1 溶岩層全体の厚さは各地域を通じて大きな変化はない。これは、オフアキシス火成活動によって生成された溶岩層の効果による。2次および3次のセグメント境界に相当する Wadi Fizh, Suhayli, Hilti ではオフアキシス火成活動の痕跡である割れ目噴火口や溶岩層へ貫入した「岩脈群」が認められる。溶岩組成も系統的に変化し、セグメント中心部では均質化した、やや分化した溶岩が支配的である。中心部では比較的大きな安定したメルトレンズがあり、下部地殻から次々と上昇してくるメルトがそこで均質化されるため溶岩も厚く、比較的均質になると考えられる。一方、セグメント境界部では分化したのからあまり分化していない溶岩、また部分溶融度の低い溶岩まで、幅広い組成を示す。より小さいメルトレンズで著しく分化した溶岩や、メルトレンズを経ずに下部地殻などから直接上昇した溶岩がこれらの起源として推測される。2次および3次のセグメント境界に相当する3地域ではオフアキシス火成活動で形成された上部層からあまり分化していない溶岩が集中して産する。これらは海嶺軸下のメルトレンズへの上昇を免れたメルトが噴出した可能性を示唆する。

キーワード: MORB, セグメント構造, 火山岩層序学, 全岩化学組成, オマーンオフィオライト

Keywords: MORB, Segment structure, Volcanology, Bulk rock composition, Oman ophiolite

オマーンオフィオライト北部の海嶺期珪長質岩類の産状と岩石化学的特徴 Occurrence and petrology of the axis stage felsic rocks in the northern Oman ophiolite

土谷 信高^{1*}, 中村 一史¹, 梅津 孝昭¹, 足立 佳子², 宮下 純夫³

TSUCHIYA, Nobutaka^{1*}, Kazufumi Nakamura¹, UMETSU, Takaaki¹, ADACHI, Yoshiko², MIYASHITA, Sumio³

¹ 岩手大学教育学部地学教室, ² 新潟大学超域研究機構, ³ 新潟大学理学部地質科学科

¹Department of Geology, Faculty of Education, Iwate University, ²Center for Transdisciplinary Research, Niigata University,

³Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University

海嶺は、岩石圏と水圏との境界、すなわちマグマと熱水との境界で、熱交換と物質の交換が行われる重要な領域である (Gillis and Coogan, 2002)。オフィオライト中の上部斑れい岩の特徴は、部分的に同化された玄武岩質捕獲岩を含む独立した岩体や細脈状岩体などの様々な産状を示す珪長質岩体が存在することである。これらの珪長質岩は、閃緑岩・石英閃緑岩・トータル岩・トロニエム岩などの斜長石に富む岩相を呈することから斜長花崗岩と総称されており (Coleman and Peterman, 1975)、玄武岩質岩の部分溶融作用、玄武岩質マグマの極端な分別結晶作用、あるいはそれらの組み合わせなどの様々な成因が考えられている (Pedersen and Malpas, 1984)。

Lippard et al. (1986) は、オマーンオフィオライト中の珪長質岩類を、上部斑れい岩類に伴われる海嶺期のもの、オフィオライト層序を非調和に貫く後期火成岩類に伴われるもの (衝上開始期)、オフィオライト層序の下部のみに貫入する花崗岩質小貫入岩類の3種類に区分した。また Rollinson (2009) も同様の区分を採用し、これらの3区分の岩石の代表例の検討からその成因を議論した。これらのうちの海嶺期の珪長質岩は、海嶺における熱交換と物質交換の証拠を示す化石として重要な意味を持つ。本報告では、オマーンオフィオライト北部の海嶺期の珪長質岩について、産状・記載岩石学的特徴・岩石化学的特徴を述べ、それらの成因について議論する。

海嶺期の珪長質岩は、シート状岩脈群最下部と上部斑れい岩との境界付近に貫入することが特徴である。今回検討したのは、Rollinson (2009) が報告したワジ・ラジミ本流のシート状岩脈群基底部、ラセイル岩体東縁およびワジ・バルガーのシート状岩脈群基底部と思われる部分、およびワジ・キャビアットのシート状岩脈群基底部付近、などに産出する珪長質岩類である。ワジ・ラジミ本流では、シート状岩脈群から上部斑れい岩への変化を連続的に追跡することができ、シート状岩脈群基底部には様々な産状の石英閃緑岩細脈が認められる。また、シート状岩脈群基底部直下の上部斑れい岩中には、シート状岩脈起源と考えられる径 10 m 以下のブロックが多数包有されており、ブロック中には石英閃緑岩細脈がしばしば貫入している。ラセイル岩体東縁およびワジ・バルガーのシート状岩脈には、上部斑れい岩およびそれに伴われる石英閃緑岩が貫入しており、シート状岩脈中には石英閃緑岩細脈が貫入していることから、シート状岩脈群の基底部付近が露出していると考えられる。ワジ・キャビアットでは、ドレライト岩脈に貫かれる石英閃緑岩~トータル岩の岩体とシート状岩脈群とがくり返して産出し、両者の直接の関係は確認できないが、シート状岩脈の一部にはワジ・ラジミのものと同様の石英閃緑岩細脈が認められる。これらの石英閃緑岩細脈は、しばしば連続性の悪いポケット状あるいはパッチ状となり、また母岩であるシート状岩脈は部分的に細粒のホルンブレンドホルンフェルス~輝石ホルンフェルスに変化している。このような産状は、Gillis and Coogan (2002) がキプロスのオフィオライトから報告したものと同様であり、海嶺軸マグマ溜り天井部でのシート状岩脈の部分溶融現象を示していると考えられる。

Gillis and Coogan (2002) は、キプロスのオフィオライト中の海嶺軸マグマ溜りの天井部での部分溶融作用を検討し、シート状岩脈起源のホルンフェルスが非平衡に部分溶融するモデルで成因を説明した。部分溶融が非平衡で起こる場合、溶融に関与する鉱物と液相との微量元素の分配がほとんど1になることが知られている (Bea, 1996 など)。したがって、非平衡溶融作用が起こる場合、部分溶融液相中の液相濃集元素濃度はそれほど高くないことになる。今回検討したオマーンオフィオライト中のシート状岩脈群基底部の石英閃緑岩細脈には、シート状岩脈が部分溶融した時に期待される液相濃集元素濃度よりも、著しく低い液相濃集元素濃度を示すものが多い。この矛盾は、非平衡溶融作用を仮定することによって説明可能となる。以上のことから、海嶺軸マグマ溜りの天井部でのシート状岩脈の部分溶融においては、非平衡溶融作用が重要な役割を果たした可能性が指摘できる。

キーワード: オマーンオフィオライト, 斜長花崗岩, 海嶺期, 海洋地殻, 岩石化学

Keywords: Oman ophiolite, plagiogranite, axis stage, oceanic crust, petrochemistry

MORBの形成過程：北部オマーンオフィオライトにおける調和的なダナイト脈からの示唆

Petrogenesis of MORB: a implication from concordant dunite bands of the northern Oman ophiolite

秋澤 紀克^{1*}, 荒井 章司¹, 田村 明弘²

AKIZAWA, Norikatsu^{1*}, ARAI, Shoji¹, TAMURA, Akihiro²

¹ 金沢大学・自然科学・地球, ² 金沢大・フロンティアサイエンス機構

¹Kanazawa Univ. Natural Sci. Earth Sci., ²Kanazawa Univ. FSO

Dunite bands and veins in the ophiolitic mantle peridotite are interpreted as melt conduits within the suboceanic mantle. In particular, concordant dunite bands are possibly important as melt conduits, through which parental melts of MORB (mid-ocean ridge basalts) were transported to shallower mantle beneath the ridge axis. However, no detailed petrological data of concordant dunite bands and surrounding peridotites have been published. We found concordant dunite bands from various "stratigraphic levels" in the mantle section of the northern Oman ophiolite. They are various in thickness (few millimeters ~ few tens of centimeters) and frequency of appearance. Dunite bands are almost pyroxene-free, and orthopyroxenes, if any, are vermicular in shape. Modal clinopyroxenes in wall peridotites increase toward the dunite band.

Mineral chemistry shows systematic variations in the wall peridotites toward the dunite bands: (1) a decrease in the Fo content (92 to 90.5) of olivines, (2) an increase in the Cr/(Cr + Al) atomic ratio (0.5 to 0.6) and TiO₂ content (nil to 0.25 wt %) in spinels, and (3) an increase in the Na₂O content (almost nil to 0.2 wt%) of clinopyroxene. In residual peridotites, rare earth element (REE) patterns of clinopyroxene incline from light-REE (LREE) to heavy-REE (HREE) monotonously. REE patterns of clinopyroxene in peridotites near dunite bands are U-shaped or flat. REE characteristics of clinopyroxene in dunite bands within the mantle away from the layered gabbro/peridotite boundary suggest an involvement of "slightly depleted MORB melts", which are slightly more enriched in LREE than the melts in equilibrium with residual peridotites.

We conducted simplified modeling for REE enrichment in clinopyroxenes by using chromatographic approach. The results indicate that MORB melts and "slightly depleted MORB melts" were transported through the present-day concordant dunite bands within the Oman mantle; MORB melts were migrated around the layered gabbro/peridotite boundary. The primitive MORB melts might have changed to MORB through "slightly depleted MORB melts" by interaction with peridotites en route to the uppermost mantle.

Keywords: Oman ophiolite, concordant dunite band, MORB, melt/rock interaction

Distribution of ultramafic layers in the mantle section of the Oman ophiolite: early magma genesis at spreading centre

Distribution of ultramafic layers in the mantle section of the Oman ophiolite: early magma genesis at spreading centre

Georges Ceuleneer², Python Marie^{1*}, 田村 明弘³, 荒井 章司⁴

Georges Ceuleneer², PYTHON, Marie^{1*}, TAMURA, Akihiro³, ARAI, Shoji⁴

¹ 北海道大学大学院理学院・地球惑星システム科学, ²Observatoire Midi-Pyrenees, Laboratoire Geosciences Environnement Toulouse, Toulouse, France, ³ 金沢大学フロンティアサイエンス機構, ⁴ 金沢大学理工学域自然システム学系

¹Hokkaido University, Department of Natural History Sciences, Sapporo, Japan, ²Observatoire Midi-Pyrenees, Laboratoire Geosciences Environnement Toulouse, Toulouse, France, ³Kanazawa University, Frontier Science Organization, ⁴Kanazawa University, Department of Earth Sciences, Kanazawa, Japan

Ultramafic dykes concordant to their host foliation (layerings) are frequently observed at various level of the mantle section of the Oman ophiolite. They generally crop out as series of 3 to about ten parallel veins, a few mm (one crystal) to a ten of cm wide, a few cm spaced out. Their host is usually harzburgite showing, in one third of the cases, increasing Opx content when approaching the layer and, in the two other third of the cases, no variation of the Opx content. Locally concordant dunite may appear in association with pyroxene-rich layerings as thin (a few mm to a few cm) parallel vein in contact with the layer or not. We present here a compilation of the data obtained on about 240 samples taken all over the mantle section of the Oman ophiolite. Their modal composition cover a wide part of the ultramafic domain with rare clinopyroxenite, dunite or wehrlite, abundant orthopyroxenite and websterite, and scarcer clinopyroxene-bearing harzburgite and lherzolite. The distribution map shows that layerings appear at any level in the mantle section, close to the basis as well as a few tens of meters below the Moho. Layerings are abundant only in the northernmost part of the ophiolite, from the Wuqbah to the Fizh blocks with exceptionally low abundance in the Hilti block. They are rare or even non-existent in the south-eastern massifs (Maqsad, Wadi Tayin, etc.) suggesting that condition for their genesis or preservation were reunited only in some specific places in the mantle before obduction. Their major elements chemistry is generally in equilibrium with their host peridotite and their pyroxenes and olivines compositions stay within the peridotite chemical domain with no specific rim-core evolution. However, Cpx trace elements content shows compositions richer in REE than the classical Oman harzburgite with chondrite normalised profiles slightly dipping in the HREE suggesting a magmatic origin with possible magma generation in the garnet peridotites field. Two-pyroxenes geothermometer show equilibrium temperatures between 950 and 1100°C, suggesting high temperature transposition and equilibration. The high abundance of layerings observed close to the Moho transition zone in the Fizh and Wuqbah blocks show that these features and their transposition are not related to the obduction but to early magmatic process below the Omanese spreading centre followed by mantle flow at high temperature.

キーワード: 調和岩脈, 輝石岩, オマーンオフィオライト, マントル, マグマ活動

Keywords: Concordant dykes, Pyroxenites, Oman ophiolite, Mantle, Magatism

北部オマーンオフィオライトから類推した初期島弧下マントルの広域的組成分布とその成因

Spatial compositional variability and origin of incipient subarc mantle inferred from the northern Oman ophiolite

高澤 栄一^{1*}

TAKAZAWA, Eiichi^{1*}

¹ 新潟大学自然科学系(理学部)

¹ Faculty of Science, Niigata University

オマーンオフィオライトは後期白亜紀のネオテチス海嶺で形成された海洋リソスフェアが形成とほぼ同時期に起こった衝上運動によってアラビア大陸に定置したものである。衝上運動の際に沈み込み帯起源の流体の流入やそれに起因するマグマ活動の影響を受けたことから、海洋性マントルから島弧性マントルへの遷移過程を理解するのに適している。本講演では、オマーンオフィオライト北部のフィズ岩体とサラヒ(ヒルチ)岩体のマントルセクションの広域的な鉱物組成分布に基づき、沈み込み帯起源の流体の流入経路やかんらん岩との反応、ポニナイト質メルトの生成と流動・反応について報告する。

フィズ岩体のマントルセクション(東西25 km, 南北50 km)では、ハルツバージャイトのスピネルのCr# (=100xCr/[Cr+Al]mol%)は、岩体南部におけるCr# 43-67から北部のCr# 22-78へと範囲が拡大する。フィズ岩体の南部は古海嶺セグメントの中心部で形成されたとされているが、そのマントルセクションは海洋底かんらん岩の組成範囲の上限であるスピネルCr# 60前後の比較的均質なハルツバージャイトが広く分布する。一方、フィズ岩体北部では古海嶺セグメントの末端部で形成されたと推定されており、マントルセクションにはスピネルCr# 70以上の枯渇したハルツバージャイトが基底部からモホ面まで直線的な分布を示す。高枯渇なハルツバージャイトはしばしば枯渇した厚いダナイト(スピネルCr# 70以上)を伴う。そのような枯渇したかんらん岩が卓越する地域を高枯渇帯(highly refractory zone: HRZ)と呼ぶ。一方、HRZの周辺部はむしろ枯渇度が低く、スピネルCr#も50以下のハルツバージャイトが多い。そのため、高枯渇帯を除外すると、フィズ岩体の北部のハルツバージャイトは、むしろ南部のものよりも枯渇度が低くなる。フィズ岩体のダナイトはスピネルCr#が45-80で、ハルツバージャイトよりもCr#が高い傾向にある。さらに、スピネルCr#が70以上のダナイトは高枯渇帯だけでなく、フィズマントルセクションの基底部にも多い。

サラヒ岩体のマントルセクション(東西15 km, 南北20 km)では、ハルツバージャイトのスピネルCr#は42-70で、その頻度は55-60でもっとも高くなる。これはフィズ岩体南部のハルツバージャイトの傾向に似ている。一方、ダナイトのスピネルCr#の頻度はパイモダルな分布を示す。すなわち、頻度は55-60と68-75で高くなる。前者のピークはハルツバージャイトにもみられるが、後者のピークはダナイトにのみ存在する。サラヒ岩体のマントルセクションの下部から基底部にかけて、ダナイトのスピネルCr#は70以上が卓越するが、マントルセクションの上部からモホ面にかけては、ハルツバージャイトとダナイトのスピネルCr#はほとんどが65以下である。そのようなスピネルCr#の低いかんらん岩は中央海嶺起源と推定される。一方、サラヒ岩体下部のスピネルCr#の高いダナイトは海洋リソスフェアの衝上運動の際にポニナイト質メルトとの反応によって生じたと考えられる。

北部オマーンオフィオライトに分布する高枯渇なハルツバージャイトとダナイトの空間分布と成因は次のようなモデルで説明することができる。海洋リソスフェアの衝上の際に、オマーンオフィオライトは形成まもない沈み込み帯に位置した。変質した海洋地殻の熱変成作用によって放出された流体がマントルセクションに基底部から流入した。ダナイトチャネルは流体が流入する経路となった可能性がある。ダナイトチャネルを伝って流入した流体は壁岩のハルツバージャイトのフラックス溶融を引き起こした。フィズ岩体マントルセクションのHRZの存在は、流体の流入が海嶺セグメント末端部付近では多かったことを示している。HRZが剪断帯に平行なことから海嶺セグメント末端部における剪断変形が流体の流入を促進したのかもしれない。あるいは、スピネルCr#が50以下の枯渇度の低いハルツバージャイトが海嶺セグメント末端部では多いために、それらのフラックス溶融によって多量のポニナイト質メルトが生じ、高い間隙率によって流体の流入が促進され、海嶺セグメント末端部に高枯渇帯を形成する要因になったのかもしれない。

キーワード: オマーンオフィオライト, マントル, かんらん岩, スピネルCr#, フラックス溶融, 流体移動

Keywords: Oman ophiolite, mantle, peridotite, spinel Cr#, flux melting, fluid migration

捕獲岩、掘削岩石試料などから推定する海洋リソスフェア構造と改変過程 A study of the structure and evolution of the oceanic lithosphere inferred from mantle xenoliths and drilling samples

阿部 なつ江^{1*}

ABE, Natsue^{1*}

¹(独) 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域

¹IFREE, JAMSTEC

海洋リソスフェアの深部構造を地質学的に明らかにするには、海嶺近傍の断裂帯やコア・コンプレックスなどの特異な海底に露出する深部岩石を採取するか、海洋科学掘削によって得られる試料を元にした研究が主流である。一方、海洋プレートを貫く火山島のマグマには、しばしばガブロやかんらん岩などのリソスフェア深部の岩石が捕獲されている。それらの試料は、海洋プレート深部の構造を理解する重要な情報源となる。過去の掘削やドレッジなどで海底から採取されたいわゆる海洋底かんらん岩 (abyssal peridotite) や、ホットスポットなどの海洋島玄武岩中に捕獲されているかんらん岩捕獲岩試料の記載岩石学的特徴を元に、海洋リソスフェア深部構造に関する情報をレビューし、海嶺での上部マントルプロセスや海洋プレート深部の温度構造などを議論する。

キーワード: 海洋リソスフェア, マントル捕獲岩, 海洋掘削, 海洋底かんらん岩

Keywords: oceanic lithosphere, mantle xenoliths, ocean drilling, abyssal peridotite

トンガ海溝におけるマフィック岩および超マフィック岩の構造および岩石学的特徴 Fabric and petrological characteristics of mafic and ultramafic rocks in the Tonga Trench

道林 克禎^{1*}, 新海優里¹, 石井輝秋², Sherman H. Bloomer³
MICHIBAYASHI, Katsuyoshi^{1*}, Yuri Shinkai¹, Teruaki Ishii², Sherman H. Bloomer³

¹ 静岡大学大学院理学研究科地球科学専攻, ² 深田地質研究所, ³ オレゴン州立大学

¹Institute of Geosciences, Shizuoka University, ²Fukada Geological Institute, ³Oregon State University

トンガ海溝は地球上で最も深い海域として知られており(最深部 10,866m), いわばマントルに最も近い場所である。トンガ海溝では, 海溝陸側斜面から様々な種類の岩石がドレッジや掘削で採取されており, 特に最深部から非常に新鮮なかんらん岩が採取されている。このように, 過去の調査において大量のマフィック岩および超マフィック岩が採取されているが, それらに関する研究はほとんど行われていない。本研究では, トンガ海溝に産出するマフィック岩および超マフィック岩の特徴とトンガ海溝の全体像を把握するため, 10地点から採取された100個の岩石試料に関して, 構造地質学および岩石学的解析を行った。かんらん岩中のカンラン石, スピネルの鉱物化学組成からは, 海溝中部と北部で組成の違いを持っていることが示唆された。海溝中部は, スピネル Cr# (0.46-0.83) が高く, これらは流体と反応した前弧起源のかんらん岩であった。一方, 海溝北部は低いスピネル Cr# (0.30-0.60) と高い TiO₂ 含有量 (0.06~0.79) がみられ, 流体だけでなくマグマと反応したかんらん岩であった。また, はんれい岩中の斜長石, 単斜輝石, 角閃石の鉱物組成からも, 流体との反応が示唆された。かんらん岩の構造は, E-type と D-type であった。E-type と D-type は, 鉱物化学組成, 粒径, 平衡温度の比較において差がみられなかったが, 唯一結晶方位の集中度に差が見られた。この差から, トンガ海溝における新鮮なかんらん岩および蛇紋岩化したかんらん岩は, ドラッグフローに起因する歪量が大きな場所で変形したと考えられた。そして, これらの岩石は, 速い沈み込み (24 cm/yr), 速い背弧拡大 (15 cm/yr), slab rollback などトンガ海溝特有のテクトニックセッティングによる活発な構造浸食や速い上昇速度などによって海底に露出したと考えられる。

キーワード: トンガ海溝, マントルウェッジ, カンラン岩, 蛇紋岩, ハンレイ岩

Keywords: Tonga trench, mantle wedge, peridotite, serpentinite, gabbro

海嶺下マントルと MORB の起源となるメルトフロー反応 Reactive Melt Flow as the Origin of Residual Mantle Lithologies and Basalt Chemistries in Mid-Ocean Ridges

木村 純一^{1*}, 佐野 栄²

KIMURA, Jun-Ichi^{1*}, Sakae Sano²

¹ 海洋研究開発機構, ² 愛媛大学/地球科学教室

¹IFREE / JAMSTEC, ²Department of Earth Science/ Ehime Unive

A reactive flow geochemical model using pMELTS thermodynamic calculations explains the observed modal, major, and trace element variations in the Red Hills peridotite, New Zealand. The model also reproduces the major and trace element chemical variation in the mid-ocean ridge basalts (MORBs) observed in the present day spreading ridges. The Red Hills peridotite is thought to originate in paleo-MOR magmatic processes in the mantle-MOHO transition zone. The peridotite body consists of a harzburgite matrix and dunite channels. The harzburgite forms the Lower Unit and the harzburgite is intruded by the replacive dunite channels in the Upper Unit. This lithology gradually turns into a massive dunite zone in which disseminated to lenticular clinopyroxene aggregates are present. The rare earth element (REE) compositions of peridotite samples vary greatly depending on their lithologies. In the Lower Unit, REEs are extremely depleted, whereas in the Upper Unit they are relatively fertile, in contradiction to their depleted lithologies. Our model consists of two-stages. The first-stage assumes melting of a depleted MORB source mantle in the garnet stability field, and the second assumes reactions between residual solids and the melts from the first-stage in the spinel stability field in an open system. The model explains the formation of depleted harzburgite and the formation of dunite channels in the harzburgite matrix well. The major and trace element compositions of the melts calculated by the model vary from ultra-depleted MOR melts in harzburgite to normal MORBs in dunite, suggesting that these lithologies are residues of a paleo-MOR. The model also explains the origins of the local and global geochemical trends found in MORBs and the geochemical variation in the abyssal peridotite samples. Our model confirms the important role of reactive flow in the mantle-MOHO transition zone beneath MORs.

キーワード: 海嶺, マントル, MORB, オフィオライト, メルト

Keywords: Ocean ridges, Mantle, MORB, Ophiolite, Melt

マントルかんらん岩の温度圧力履歴の多様性とそのリソスフェア-アセノスフェア相互作用における意義

Diversity in PT history of exhumed mantle peridotites and its implication in lithosphere-asthenosphere interaction

小澤 一仁^{1*}, ジャン・ルイ ボディニエ², カルロス ガリド³, 永原 裕子¹
OZAWA, Kazuhito^{1*}, Jena-Louis. Bodinier², Carlos J. Garrido³, NAGAHARA, Hiroko¹

¹ 東京大学, ² モンペリエ大学, ³ グラナダ大学

¹University of Tokyo, ²Universite de Montpellier, ³University of Granada

Pressure and temperature history of exhumed mantle peridotites shows significant diversities, which may be attributed to several factors such as: (1) lithospheric thermal gradient before exhumation, (2) rate of tectonic motion and thermal and mechanical conditions during exhumation, (3) thermal perturbation shortly before or during exhumation of lithosphere such as episodic asthenospheric thermal convection with lithosphere erosion and related magma generation, and transportation, (4) lithosphere formation or growth from asthenosphere through melting and melt separation and subsequent exhumation. These factors may, conversely, be estimated from the mantle peridotites if each effect can be isolated from the others by considering tectonic environment where the mantle peridotite resided and exhumed. The first factor is recorded as the initial condition of exhumation potentially providing information on steady-state mantle heat flow. The second is recorded as compositional zoning of minerals in terms of elements sensitive to PT change. Among these factors, (3) and (4) represent direct thermal and mechanical interactions between lithosphere and asthenosphere and are examined by whole-rock compositions and its heterogeneity constraining thermal condition of melting and melt segregation processes if they were involved (e.g., abyssal peridotite exposed along mid-ocean ridges). The following cooling and thermal relaxation are recorded as compositional zoning in minerals and chemical heterogeneity in a composite lithology over the scale of more than a few centimeters.

These approaches are similarly applicable to any types of mantle peridotites such as orogenic peridotites, mantle section of ophiolites, and mantle xenoliths in alkali basalt and kimberlite. Xenoliths can provide instantaneous thermal states of the mantle up to the depth as deep as a few hundreds km, and is superior in examination of (1) and (3). Contrary to this, intrusive peridotites always underwent slow exhumation process more or less obscuring lithospheric information, and is superior in examination of (2) and (4).

Following the above strategy, thermal histories of three peridotite bodies from world orogenic belts are compared. These are the Horoman peridotite in the Hidaka belt, peridotite bodies in the Pyrenees, and Ronda in the Betic Cordillera. The common feature of these peridotites is that they were initially resided in the garnet stability field before decompression. There are, however, several distinctions: (1) garnet in any rock types is completely transformed into low pressure mineral assemblage (symplectite) in Horoman, garnet in pyroxenites remains but that in peridotites is completely transformed into symplectites in Pyrenees, and garnet remains in peridotites as well as in pyroxenites in Ronda, (2) orthopyroxene in garnet- or symplectite-bearing rocks shows remarkable M-shaped Al zoning in Horoman, weaker but distinct M-shaped in Pyrenees, and very weakly developed in Ronda, (3), orthopyroxene in peridotite and pyroxenites has a Ca-rich margin in Horoman, but such features are not common in Pyrenees and Ronda, and (4) topotaxy is always established in two-pyroxene spinel symplectite in Horoman (Odashima et al., 2008) but not so in Ronda (R. Nagashima, personal communication). These systematic relationships suggest that dP/dT was very small or even negative in Horoman (~adiabatic or heating during exhumation), moderate in Pyrenees (~adiabatic), and large in Ronda (effective cooling with decompression). It is inferred that exhumation accompanying active asthenospheric thermal perturbation took place in Horoman, passive exhumation in Pyrenees, and transportation towards the cooler region probably in a subduction environment in Ronda, in spite of the suggested asthenospheric thermal perturbation in the spinel and plagioclase facies in Ronda (Garrido et al., 2010).

キーワード: リソスフェア-アセノスフェア相互作用, マントル温度圧力履歴, マントル熱構造

Keywords: lithosphere-asthenosphere interaction, mantle pressure temperature history, mantle thermal structure

海底及び陸上広帯域地震観測によって明らかになったフィリピン海と南太平洋地域の3次元S波上部マントル速度構造 Three-dimensional shear wave structures of the upper mantle beneath the Philippine Sea and the French Polynesia region

一瀬 建日^{1*}, 塩原 肇¹, 末次 大輔², 杉岡 裕子²

ISSE, Takehi^{1*}, SHIOBARA, Hajime¹, SUETSUGU, Daisuke², SUGIOKA, Hiroko²

¹ 東京大学地震研究所, ² 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域

¹ OHRC, ERI, Univ. of Tokyo, ² IFREE, JAMSTEC

太平洋地域でのマントルダイナミクス解明の為に我々は最新鋭の海底広帯域地震計を用いた機動観測を何度も行ってきた。観測域はフィリピン海とその周辺及び南太平洋フレンチポリネシア地域である。前者の地域は太平洋プレートの沈み込み帯であり、後者は太平洋大海膨と呼ばれる海底面の異常な盛り上がりとスーパールームと呼ばれる下部マントルの巨大な上昇流の存在で特徴づけられる地域である。

ここでは表面波トモグラフィー解析手法を用いて得られたこれら2地域の3次元S波上部マントル速度構造について述べる。

フィリピン海域では、陸上及び海底広帯域地震計で観測された表面波(レイリー波及びラブ波)を用いて等方不均質構造及び異方性構造を求めた。この結果従来より詳細な(水平解像度 300km)速度構造を得ることができ、伊豆小笠原マリアナ島弧のマントルウエッジが長さ約 500km の3つの独立した低速度異常域となっている事が明らかになった。また、典型的な海洋プレートでの異方性構造に関しては、リソスフェアでは方位異方性の速度の速い方向と過去の海洋底拡大の方向が調和的である一方でアセノスフェアでは複雑であり、四国海盆ではプレートの拡大方向と調和的だが太平洋では約 30 度、西フィリピン海盆では約 55 度異なっていた。沈み込み帯周辺の方位異方性は琉球弧ではトレンチに平行であり、伊豆小笠原島弧では北西-南東方向であった。フィリピン海プレートは単一のプレートではあるが、複雑なプレート成長の影響により複雑な異方性構造を持っている事が明らかになった。

南太平洋フレンチポリネシア海域では、表面波のうち基本モードのレイリー波を用いた構造解析を行い深さ約 200km までの上部マントル3次元構造を求めた。得られた構造モデルの水平方向解像度は約 400km と従来のモデルより遥かに高解像度なモデルが得られた。海洋底年代の若いフレンチ・ポリネシア東部やラウ海盆に低速度、古い部分では高速度異常が見られる。また、ホットスポットの下に低速度異常が存在するが、深部まで低速度領域が連続するホットスポット(ソサエティ, マクドナルド, マルケサス)と浅部にのみ低速度異常がみられるホットスポット(サモア, ラロトンガ, アラゴ)とがある事が明らかになった。

キーワード: 海底地震観測, 上部マントル, 表面波解析

Keywords: seafloor observation, upper mantle structure, surface wave analysis